

doi: 10.3799/dqkx.2010.013

# 江油二郎庙鱼洞子剖面飞仙关组鲕粒滩内部构成

荣辉<sup>1</sup>, 焦养泉<sup>1,2,3</sup>, 吴立群<sup>1</sup>, 李荣<sup>1</sup>, 王瑞<sup>1</sup>, 鲁超<sup>1</sup>, 吕琳<sup>1</sup>

1. 中国地质大学资源学院, 湖北武汉 430074

2. 中国地质大学构造与油气资源教育部重点实验室, 湖北武汉 430074

3. 中国地质大学生物地质与环境地质教育部重点实验室, 湖北武汉 430074

**摘要:** 江油二郎庙鱼洞子地区飞仙关组早期发育4期鲕粒滩, 分别位于4个准层序组P<sub>ss1</sub>、P<sub>ss2</sub>、P<sub>ss3</sub>和P<sub>ss4</sub>内部。P<sub>ss1</sub>由两个准层序P<sub>s1</sub>和P<sub>s2</sub>组成, P<sub>s2</sub>是鲕粒滩主体; 滩体发育时, 剖面位于稳定鲕粒砂坪边缘靠近深水区, 以含鲕粒粉—细晶灰岩和鲕粒灰岩为主, 鲕粒直径较小, 在0.3~0.8 mm之间, 下部鲕粒含量在20%左右, 往上增加到50%~60%, 分选中等, 呈圆—次圆状。P<sub>ss2</sub>由3个准层序P<sub>s1</sub>、P<sub>s2</sub>和P<sub>s3</sub>组成, P<sub>s1</sub>上部、P<sub>s2</sub>和P<sub>s3</sub>共同构成鲕粒滩主体; 滩体发育时, 剖面位于稳定鲕粒砂坪区, 以含豆粒鲕粒灰岩和含鲕粒豆粒灰岩为主, 颗粒含量在40%~65%之间, 其中鲕粒直径较大, 在0.2~1.8 mm之间, 颗粒分选普遍较差, 多呈圆—次圆状。P<sub>ss3</sub>由两个准层序P<sub>s1</sub>和P<sub>s2</sub>组成, P<sub>s1</sub>和P<sub>s2</sub>共同构成鲕粒滩主体; 滩体发育时, 剖面位于稳定鲕粒砂坪靠近鲕粒滩活动边缘区, 以鲕粒灰岩为主, 颗粒含量在40%~70%之间, 其中鲕粒直径较小, 在0.1~0.8 mm之间, 颗粒分选中等—差, 多呈次圆状。P<sub>ss4</sub>由5个准层序P<sub>s1</sub>、P<sub>s2</sub>、P<sub>s3</sub>、P<sub>s4</sub>和P<sub>s5</sub>组成, 后4个是鲕粒滩主体; 滩体发育时, 剖面位于鲕粒滩活动边缘区, 每个准层序下部为白云质鲕粒灰岩, 鲕粒含量在50%~60%之间, 直径较小, 在0.2~0.8 mm之间, 分选中等—差, 多呈圆状, 上部为残余鲕粒云岩, 鲕粒含量多在80%以上, 直径很小, 在0.2~0.5 mm之间, 分选好, 呈圆状。滩体解剖和物性测试发现在鲕粒滩活动边缘区, 受较强水动力条件改造的鲕粒滩易于形成优质储层, 颗粒含量在55%以上且白云石含量在60%以上的鲕粒滩岩石物性明显较好, 其平均孔隙度和渗透率分别可以达到10.94%和0.076×10<sup>-3</sup> μm<sup>2</sup>。可见, 鲕粒滩活动边缘是潜在的优质储层发育部位, 且优质储层形成与原始沉积条件密切相关。

**关键词:** 层序地层学; 鲕粒滩; 飞仙关组; 江油二郎庙; 四川盆地。

中图分类号: P618

文章编号: 1000-2383(2010)01-0125-12

收稿日期: 2009-06-13

## Oolitic Shoal Composition and Its Implication of Feixianguan Formation in Yudongzi Section of Erlangmiao, Jiangyou, Sichuan, China

RONG Hui<sup>1</sup>, JIAO Yang-quan<sup>1,2,3</sup>, WU Li-qun<sup>1</sup>, LI Rong<sup>1</sup>, WANG Rui<sup>1</sup>, LU Chao<sup>1</sup>, LÜ Lin<sup>1</sup>

1. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resources of the Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

3. Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology of the Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

**Abstract:** Four phases of oolitic shoal developed in the inner parasequence set 1, parasequence set 2, parasequence set 3 and parasequence set 4 respectively in the forepart of Feixianguan Formation in Yudongzi section of Erlangmiao, Jiangyou. Parasequence set 1 is composed of parasequence 1 and parasequence 2. The later development at the edge of the stabilized sand flat around area with deep water is the main body of oolitic shoal. It is dominated by ooid-silty-fine limestone and oolitic limestone in which ooids are smaller with the diameter ranging from 0.3 mm to 0.8 mm, moderate-sorted and rounded-subrounded with the increasing of contents ascending from about 20% to 50%—60%. Parasequence set 2 is composed of parasequence 1, parasequence 2 and parasequence 3. The upside of parasequence 1, parasequence 2 and parasequence 3 are all the main body of oolitic shoal developed at the edge of the stabilized sand flat. They are dominated by pisolitic-oolitic limestone and oolitic-pisolitic limestone in which the contents of grains are 40%—65%. Ooids are bigger with the diameter varying from 0.2 mm to 1.8 mm, poorly-sorted and rounded-subrounded. Parasequence set 3 is composed of parasequence 1 and parasequence 2. Both

基金项目: 中国石油化工集团公司项目(No. 2006026015); 教育部构造与油气资源重点实验室开放基金项目(No. YQ2006KF18); 中国石油化工集团公司前瞻性项目专题(No. 2007026230)。

作者简介: 荣辉(1984—), 男, 博士研究生, 主要从事层序地层学与储层地质学研究。E-mail: ronghui0411@163.com

of them are the main body of oolitic shoal and developed at the edge of the stabilized sand flat around area with the mobile fringe. They are dominated by oolitic limestone in which the contents of grains are 40%–70%. Ooids are a little smaller with the diameter ranging from 0.1 mm to 0.8 mm, moderate or poorly-sorted and subrounded. Parasequence set 4 is composed of parasequence 1, parasequence 2, parasequence 3, parasequence 4 and parasequence 5. The last four developed on the mobile fringe are the main body of oolitic shoal. Ooids at the bottom of each parasequence which are dominated by dolomitic-oolitic limestone are small with the diameter ranging from 0.2 mm to 0.8 mm, moderate or poorly-sorted and well rounded with the contents of 50%–60%, while those on the top dominated by residual oolitic dolostones are much smaller with the diameter ranging from 0.2 mm to 0.5 mm, well sorted and well rounded with the contents of over 80%. By the analogs of oolitic shoal and testing of physical properties, it is found that high-quality reservoir is developed in the mobile fringe where the hydrodynamic conditions are stronger. The reservoir in which the contents of grains in the oolitic shoal are more than 55% and the contents of dolomite are more than 60% have better physical properties with porosities of 10.94% and permeabilities of  $0.076 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  on average. Thus it can be seen the mobile fringe is the position where potential high-quality reservoirs develop and the forming of them are highly related with their original sediment conditions.

**Key words:** sequence stratigraphy; oolitic shoal; Feixianguan Formation; Erlangmiao, Jiangyou; Sichuan basin.

鲕粒滩是一种重要的碳酸盐岩储层,如中东地区上侏罗统阿拉伯组、美国堪萨斯州圣路易斯灰岩建造等均以鲕粒滩作为油气储层.国外对现代浅海环境中鲕粒滩沉积的几何形态和展布(Grasmueck and Weger, 2002; Grammer *et al.*, 2004; Reeder and Rankey, 2008)及古海相碳酸盐岩储层(Parham and Sutterlin, 1993; Qi *et al.*, 2007)已经展开了大量研究工作,对于认识鲕粒滩沉积环境、内部构成及时空分布提供了一定指导.早期国内学者对西南地区下三叠统嘉陵江组(Zeng *et al.*, 1983)和华北地区中寒武统张夏组(孟祥化和葛铭, 1993, 2004; 沙庆安和江茂生, 1998; 柳永清等, 1999; 沙庆安, 1999)鲕粒滩进行过较详细的研究.近年来四川盆地下三叠统飞仙关组鲕粒滩的研究开始受到重视;研究该区鲕粒滩的文献也较多(王兴志等, 2002; 王一刚等, 2002; 杨雨等, 2002; 张静和王一刚, 2003; 徐世琦等, 2004; 魏国齐等, 2006; 马永生等, 2007),但缺乏针对鲕粒滩内部构成的深入研究资料.鲕粒滩是鲕滩储层形成的基础,但并非所有的鲕粒滩都能成为优质储层,这涉及到鲕粒滩内部构成的差异性;通过对鲕粒滩内部构成精细研究,不仅可以认识这种差异性,而且能揭示鲕粒滩沉积环境,为优质储层成因解释提供新认识.本文以江油二郎庙鱼洞子剖面飞仙关组早期台缘鲕粒滩为例,讨论鲕粒滩内部构成特征、沉积模式及研究意义.

## 1 地质背景及剖面简介

江油二郎庙鱼洞子剖面位于川西北天井山背斜南端,距江油市二郎庙镇西北方向约 10 km(图 1),

区域构造上处于四川盆地龙门山山前断褶构造带内部.四川盆地飞仙关组早期沉积相分布格局从西至北东分别为:冲积扇—河流相、海陆交互相、半局限海相、碳酸盐台地相及开江—梁平海槽和城口—鄂西海槽(徐世琦等, 2004);该区飞仙关组早期沉积环境基本继承了长兴组晚期广阔的碳酸盐台地环境沉积格局,台地边缘鲕粒滩分布受控于川西海槽、广旺—开江—梁平海槽(宋子堂和罗志立, 1990).鱼洞子地区飞仙关组早期总体上处于碳酸盐台地相向广海过渡带,即台地边缘相区(图 1).

鱼洞子剖面出露地层有长兴组上部和飞仙关组下部即飞一下亚段( $T_1f^{1-1}$ )、飞一上亚段( $T_1f^{1-2}$ )和飞二段( $T_1f^2$ ),其中飞二段未见顶,但根据该剖面附近出露的飞二段地层可以将其补充完整.该剖面从下往上可分为 21 个岩性单元,根据岩性组合特征,可以识别出 5 个准层序组: P<sub>ss0</sub>、P<sub>ss1</sub>、P<sub>ss2</sub>、P<sub>ss3</sub> 和 P<sub>ss4</sub>(图 1). P<sub>ss0</sub> 属于长兴组上部沉积,其下部发育生物礁灰岩,造礁生物早期以苔藓虫和钙藻为主,后期以珊瑚礁为主,且在珊瑚礁体上部覆盖厚层微生物岩(图 1). P<sub>ss1</sub> 对应于  $T_1f^{1-1}$ ,其底部为中厚层状微—细晶灰岩和中薄层状微晶灰岩;中部为中厚层状泥—微晶灰岩,局部见泥晶角砾灰岩;上部为含鲕粒粉—细晶灰岩和鲕粒灰岩(图 1). P<sub>ss2</sub> 对应于  $T_1f^{1-2}$  下部,其下部为中薄层状白云质微晶灰岩和灰质粉晶白云岩;上部以厚层状含豆粒鲕粒灰岩和含鲕粒豆粒灰岩为主,夹厚层状鲕粒灰岩(图 1). P<sub>ss3</sub> 对应于  $T_1f^{1-2}$  上部,其整体上以厚层状鲕粒灰岩为主,夹厚层状含豆粒鲕粒灰岩和含鲕粒豆粒灰岩(图 1). P<sub>ss4</sub> 对应于  $T_1f^2$ ,但其顶部出露不完整,下部从下往上依次由白云质鲕粒内碎屑灰岩、

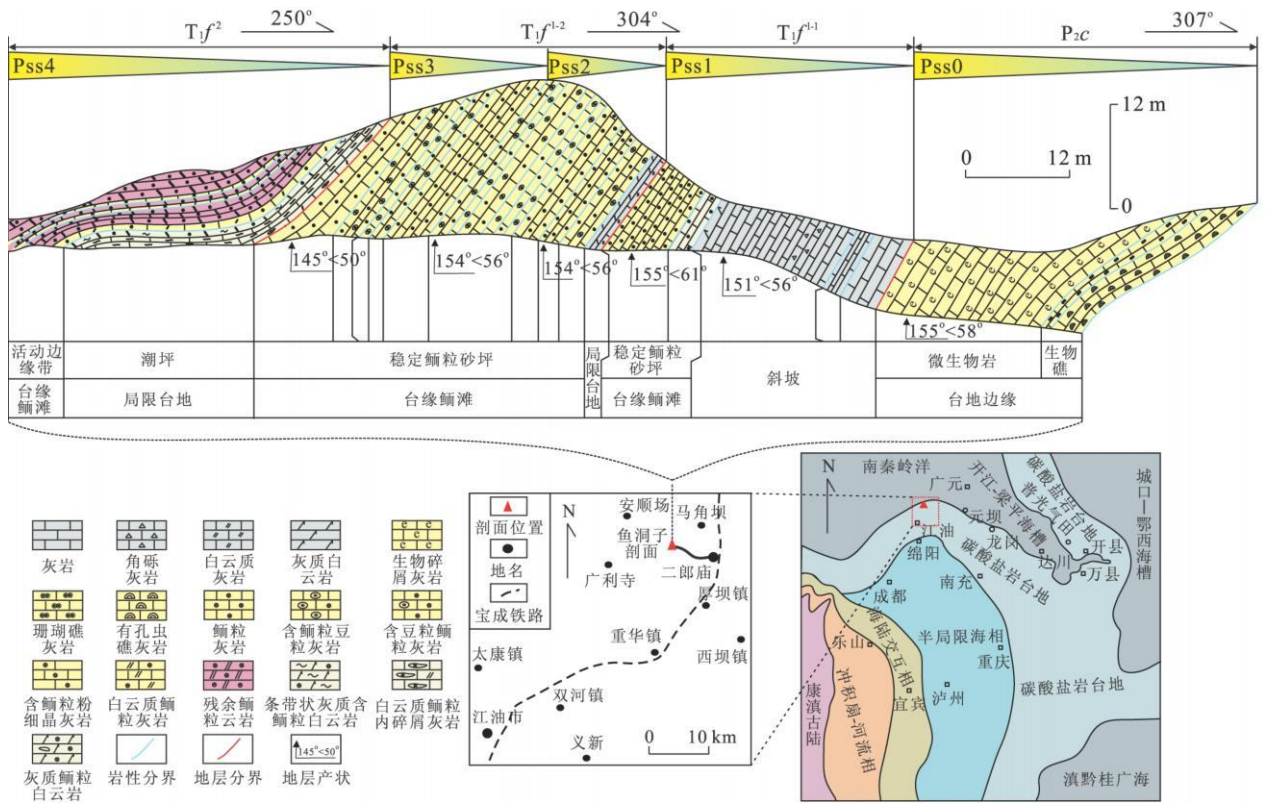


图 1 四川盆地下三叠统飞仙关组早期古地理<sup>①</sup>、鱼洞子剖面交通位置及剖面概况

Fig.1 Paleogeography of Early Feixianguan in Sichuan basin and traffic location and stata of Yudongzi Section

灰质鲕粒白云岩和条带状含鲕粒白云岩三个岩性单元构成;上部以残余鲕粒云岩发育为主,夹中薄层白云质鲕粒灰岩,即其从下往上有多个岩性组合单元,每个单元下部为中薄层白云质鲕粒灰岩,上部为厚层残余鲕粒云岩(图 1)。可见,鱼洞子剖面飞仙关组早期发育四期鲕粒滩,分别位于 4 个准层序组内部。Pss1 中鲕粒滩厚度 6.7 m; Pss2 中鲕粒滩厚度 20.9 m; Pss3 中鲕粒滩厚度 14.4 m; Pss4 中鲕粒滩未见顶,鲕粒滩出露厚度 4.8 m。

## 2 飞仙关组鲕粒滩内部构成特征

通过对鲕粒滩内部岩性组合、颗粒类型、大小、含量、分选性、磨圆度及准同生期成岩信息等深入研究,不仅能识别鲕粒滩内部构成特征,且对揭示其形成环境有重要意义。

### 2.1 准层序组 Pss1 中鲕粒滩内部构成特征

Pss1 是由中厚层状微—细晶灰岩、中薄层状微晶灰岩、中厚层状泥—微晶灰岩和鲕粒滩沉积构成

的进积型准层序组。其内部可识别出两个准层序 Ps1 和 Ps2,其中 Ps2 为鲕粒滩主体(图 2)。Ps1 底部为中厚层状微—细晶灰岩;中部为中薄层状微晶灰岩;上部为中厚层状泥—微晶灰岩,局部夹泥晶角砾灰岩;顶部为灰质砂屑白云岩(图 3a),并伴随溶蚀现象。Ps2 下部为含鲕粒粉—细晶灰岩,鲕粒含量在 20%左右;上部为鲕粒灰岩,鲕粒直径在 0.3~0.8 mm 之间,含量在 50%~60%之间,分选中等,呈圆—次圆状(图 3b)。可见, Pss1 中鲕粒滩以含鲕粒粉—细晶灰岩和鲕粒灰岩为主,鲕粒直径较小,从下往上鲕粒含量逐渐增加(图 2)。

### 2.2 准层序组 Pss2 中鲕粒滩内部构成特征

Pss2 是由中薄层状白云质微晶灰岩及灰质粉晶白云岩与鲕粒滩沉积构成的进积型准层序组。其内部可识别出 3 个准层序 Ps1、Ps2 和 Ps3,其中 Ps1 上部、Ps2 和 Ps3 共同构成鲕粒滩主体(图 2)。Ps1 下部为中厚层状白云质微晶灰岩和灰质粉晶白云岩,往上白云岩化程度增强(图 2);上部为含豆粒鲕粒灰岩,鲕粒直径在 0.3~1.8 mm 之间,含量在 40%~50%之间,豆粒直径在 2~5 mm 之间,含量在 5%左右,颗粒分选中等—差,呈圆—次圆状,以晶间

① 杨雨, 2002. 四川盆地东北部飞仙关组鲕粒滩层分布规律研究及勘探目标选择(内部资料). 成都: 中国石油四川成都西南油气田分公司勘探开发研究院(转引于徐世琦等, 2004).

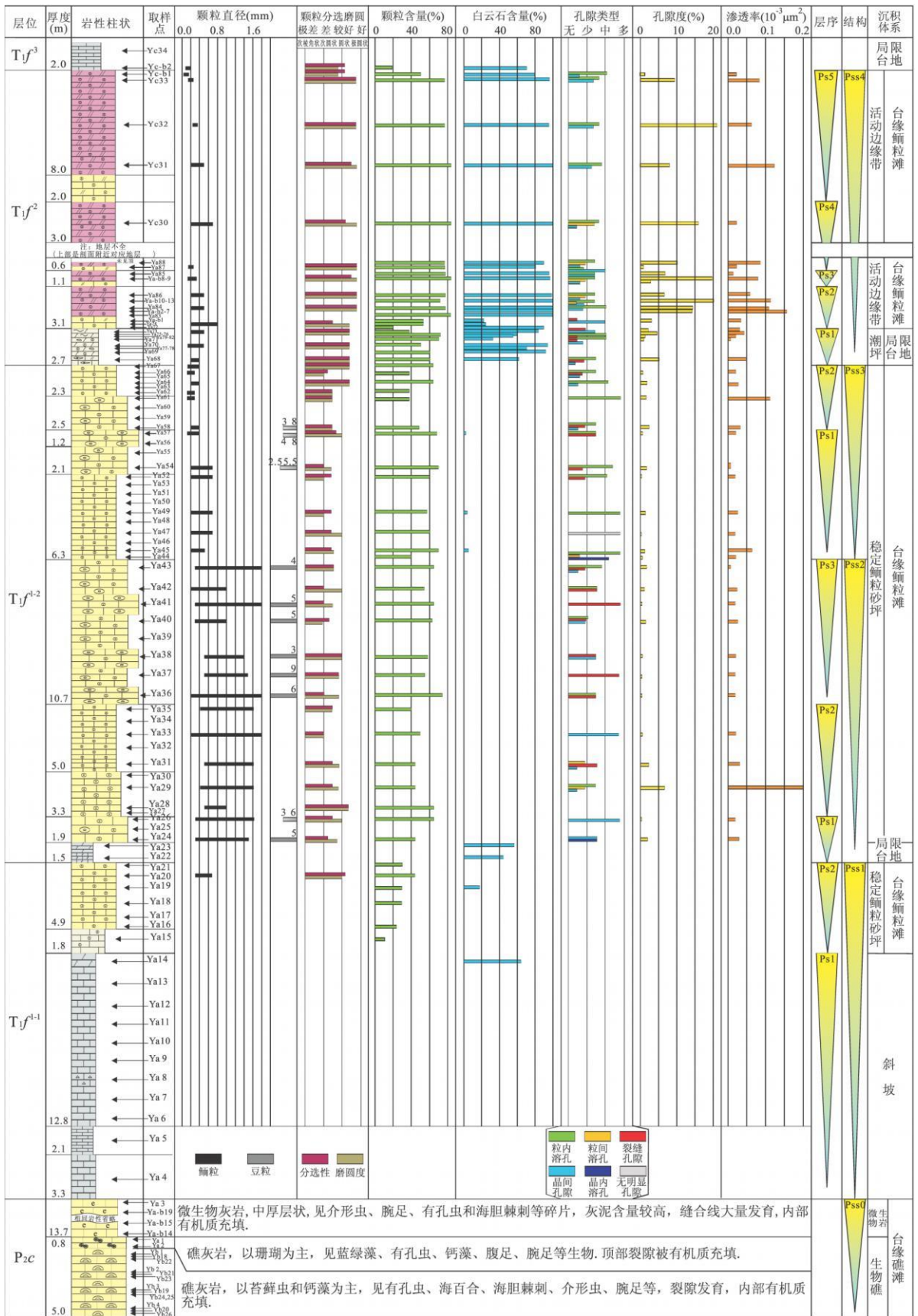


图 2 江油二郎庙鱼洞子剖面飞仙关组早期鲕粒滩沉积特征(岩性柱状图例见图 1)

Fig. 2 Sedimentary features of oolitic shoal of the Early Feixianguan in Yudongzi Section, Erlangmiao, Jiangyou

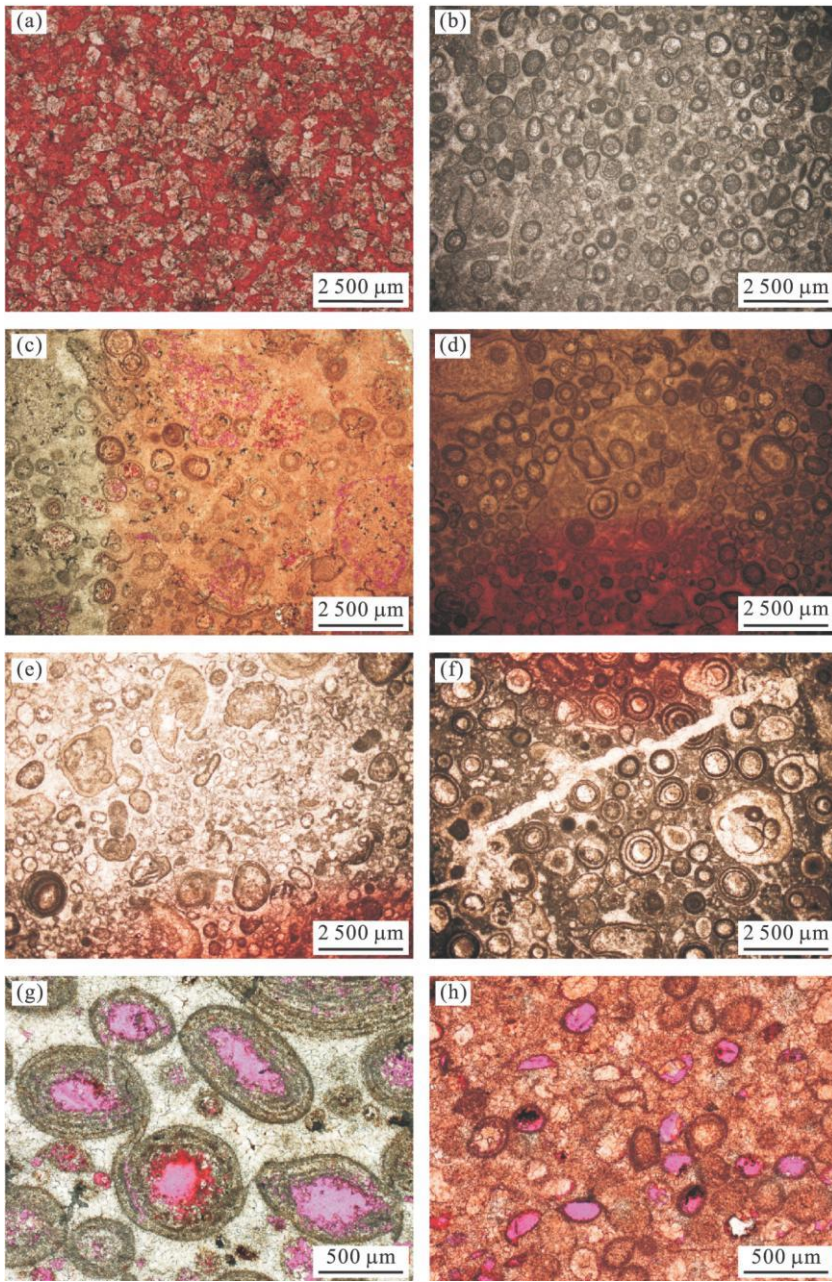


图 3 江油二郎庙鱼洞子剖面准层序组 P<sub>ss1</sub>、P<sub>ss2</sub> 和 P<sub>ss3</sub> 内部鲕粒滩岩性特征

Fig. 3 Lithology of oolitic shoal in the parasequence set 1, parasequence set 2 and parasequence set 3 of Yudongzi Section, Erlangmiao, Jiangyou

a. P<sub>ss1</sub> 中 Ps1 顶部灰质砂屑白云岩, Ya-14, 染色岩矿薄片, 单偏光, ×10; b. P<sub>ss1</sub> 中 Ps2 上部鲕粒灰岩, 鲕粒分选中等, 呈次圆-圆状, Ya-20, 普通岩矿薄片, 单偏光 ×1; c. P<sub>ss2</sub> 中 Ps1 上部含豆粒鲕粒灰岩 其下部颗粒分选中等-差, 多呈圆-次圆状, 含量低, Ya-24, 铸体薄片, 单偏光, ×1; d. P<sub>ss2</sub> 中 Ps1 上部含豆粒鲕粒灰岩 其上部颗粒分选中等-差 多呈圆状 含量高 Ya-26 染色岩矿薄片, 单偏光, ×1; e. P<sub>ss2</sub> 中 Ps3 下部颗粒分选差 多呈次圆状, 含量低, Ya-36, 染色岩矿薄片, 单偏光, ×1; f. 右: P<sub>ss2</sub> 中 Ps3 中部颗粒分选中等, 多呈圆状 含量高, Ya-38, 染色岩矿薄片, 单偏光 ×1; g. P<sub>ss3</sub> 中 Ps1 底部鲕粒个体较小, 分选中等-差, 多呈圆-次圆状 部分破裂, 核心溶蚀, Ya-45, 铸体薄片, 单偏光, ×5; h. P<sub>ss3</sub> 中 Ps2 上部鲕粒个体很小, 分选中等 除部分破碎, 核心溶蚀外, 多呈圆状, 铸体薄片, Ya-64, 单偏光, ×5

孔隙为主, 且由下往上颗粒直径变大, 含量增加, 分选变好, 磨圆度有增高的趋势(图 2, 3c, 3d). Ps2 下部为鲕粒灰岩, 鲕粒直径较大, 除底部鲕粒含量可达 65%, 分选好, 呈圆状外, 往上鲕粒含量均在 45% 左

右, 分选中等-差, 呈圆-次圆状; 上部仍为鲕粒灰岩, 而鲕粒直径相对较小, 其底部鲕粒含量在 45% 左右, 分选差, 多呈次圆状, 以正常鲕和复鲕为主, 往上鲕粒含量可达 50%, 分选变好, 呈圆-次圆状, 发

育薄皮鲕和负鲕,核心多为粉晶白云石;顶部鲕粒含量有所下降,破碎严重.可见,Ps2中鲕粒含量除底部较高,顶部较低外,从下往上鲕粒含量有所增加,白云岩化程度增强(图2),上部溶蚀较明显.Ps3为含鲕粒豆粒灰岩与含豆粒鲕粒灰岩互层;含鲕粒豆粒灰岩内,豆粒直径在2~5 mm之间,含量在35%左右,鲕粒直径在0.2~1.8 mm之间,含量在30%左右;含豆粒鲕粒灰岩内,鲕粒直径在0.3~1.8 mm之间,含量在40%~60%之间,而豆粒直径在2~9 mm之间,含量在5%~15%之间;从下往上有3个含鲕粒豆粒灰岩与含豆粒鲕粒灰岩组合单元.从颗粒含量、分选性和磨圆度上看,有两个由低到高、由差到中等和由次圆到圆状的序列(图3e, 3f),每个序列顶部颗粒含量最高,局部白云岩化(图2).因此总体上看,Ps3内部由下往上颗粒含量有增加趋势,分选性有变好的趋势,磨圆度有增高的趋势,且白云岩化也有所增强,下部以裂缝孔隙为主,顶部溶蚀明显(图2).

综上所述,准层序组Pss2内部鲕粒滩以含豆粒鲕粒灰岩和含鲕粒豆粒灰岩为主,夹鲕粒灰岩,颗粒含量在40%~65%之间;颗粒个体较大,鲕粒直径在0.2~1.8 mm之间,豆粒直径在2~5 mm之间,部分甚至可达9 mm;颗粒分选普遍较差,多呈圆一次圆状;且Ps1和Ps2以晶间孔隙发育为主,Ps3以裂缝孔隙发育为主,顶部发育少量粒内孔隙(图2).

### 2.3 准层序组 Pss3 中鲕粒滩内部构成特征

Pss3是由鲕粒滩沉积构成的进积型准层序组.其内部可识别出两个准层序Ps1和Ps2,其中Ps1和Ps2共同构成鲕粒滩主体(图2).Ps1下部为鲕粒灰岩,鲕粒直径较小,在0.2~0.8 mm之间,含量为50%~60%之间;颗粒分选中等一差,多呈圆一次圆状(图3g).中部为含豆粒鲕粒灰岩,鲕粒直径在0.2~0.8 mm之间,含量在60%左右;豆粒直径在2~3.5 mm之间,含量在10%左右;颗粒分选差,多呈次圆状;此外,含有少量生物碎片.上部为含鲕粒豆粒灰岩,鲕粒直径在0.1~0.4 mm之间,含量在30%左右,多呈次圆状;豆粒直径较大,在4~8 mm之间,呈圆一次圆状,含量为35%~40%.总体上看,颗粒溶蚀现象比较明显,以粒内溶孔发育为主(图3g).可见Ps1除底部颗粒含量为70%外,从下往上颗粒含量逐渐增多,磨圆度有增强的趋势,溶蚀比较普遍(图2).Ps2下部为含豆粒鲕粒灰岩,鲕粒直径较小,在0.2~0.4 mm之间,含量在40%左右,豆粒直径在3~8 mm之间,含量为5%~10%;

颗粒分选中等一差,多呈圆一次圆状.上部为鲕粒灰岩,鲕粒直径在0.1~0.3 mm之间,颗粒分选中等一好,多呈圆状,发育羽状交错层理,往上变为低角度交错层理;从下往上有2个鲕粒含量增加的序列,含量一般由35%增加至65%;每个序列下部颗粒多呈次圆状,溶蚀不明显;上部颗粒多呈圆状,溶蚀明显(图3h).总体上以粒内溶孔发育为主,往上溶蚀孔隙发育程度增强.可见Ps2从下往上颗粒含量总体上有增加的趋势,破碎程度呈减小的趋势;溶蚀现象普遍,且往上程度增强(图2).

综上所述,准层序组Pss3内部鲕粒滩以鲕粒灰岩为主,夹含豆粒鲕粒灰岩和含鲕粒豆粒灰岩,颗粒含量在40%~70%之间;鲕粒直径普遍较小,在0.1~0.8 mm之间,豆粒直径在2~8 mm之间;颗粒分选普遍表现为中等一差,多呈次圆状;粒内溶孔较为发育.

### 2.4 准层序组 Pss4 中鲕粒滩内部构成特征

Pss4是由白云质鲕粒内碎屑灰岩、中厚层灰质鲕粒云岩及条带状灰质含鲕粒白云岩与鲕粒滩沉积构成的进积型准层序组.其内部可以识别出5个准层序Ps1、Ps2、Ps3、Ps4和Ps5,其中后4个是鲕粒滩主体(图2).Ps1底部为白云质鲕粒内碎屑灰岩,碎屑颗粒呈长条状,顺层分布;中部为中厚层灰质鲕粒白云岩,局部鲕粒含量在70%左右,鲕粒直径在0.1~0.6 mm,分选中等,多呈圆状,多数发生白云岩化,内部被有机质充填,岩石内部残余方解石斑块发育(图4a);顶部为条带状灰质含鲕粒白云岩,发育水平层理,鲕粒直径在0.2~0.5 mm之间,往往顺层分布,鲕粒多呈圆状,含量在40%以下,核心破坏,往往基质白云石化严重(图4b).可见Ps1从下往上白云岩化发生部位由颗粒内部转变为基质内部,鲕粒含量中下部高,顶部少,且顶部鲕粒分布具有成层性;孔隙类型主要以粒内溶孔发育为主,而裂缝孔隙发育较为集中.Ps2下部为鲕粒灰岩,鲕粒直径在0.2~0.8 mm之间,含量为50%~60%之间,颗粒之间亮晶胶结,颗粒和基质部分白云石化,鲕粒分选中等一差,多呈圆状(图4c);上部为残余鲕粒云岩,鲕粒直径在0.2~0.5 mm之间,鲕粒间呈点接触,含量在80%以上,分选好,呈浑圆状;溶蚀极为普遍(图4d),发育粒间或粒内溶孔(铸模孔隙)(图4e, 4f).Ps3具有与Ps2类似的结构,下部为白云质鲕粒灰岩;上部为残余鲕粒云岩,夹薄层含鲕粒生屑白云岩,其中含有大量腕足类和双壳类化石.Ps4与Ps5均具有与Ps2类似的结构,下部为灰色

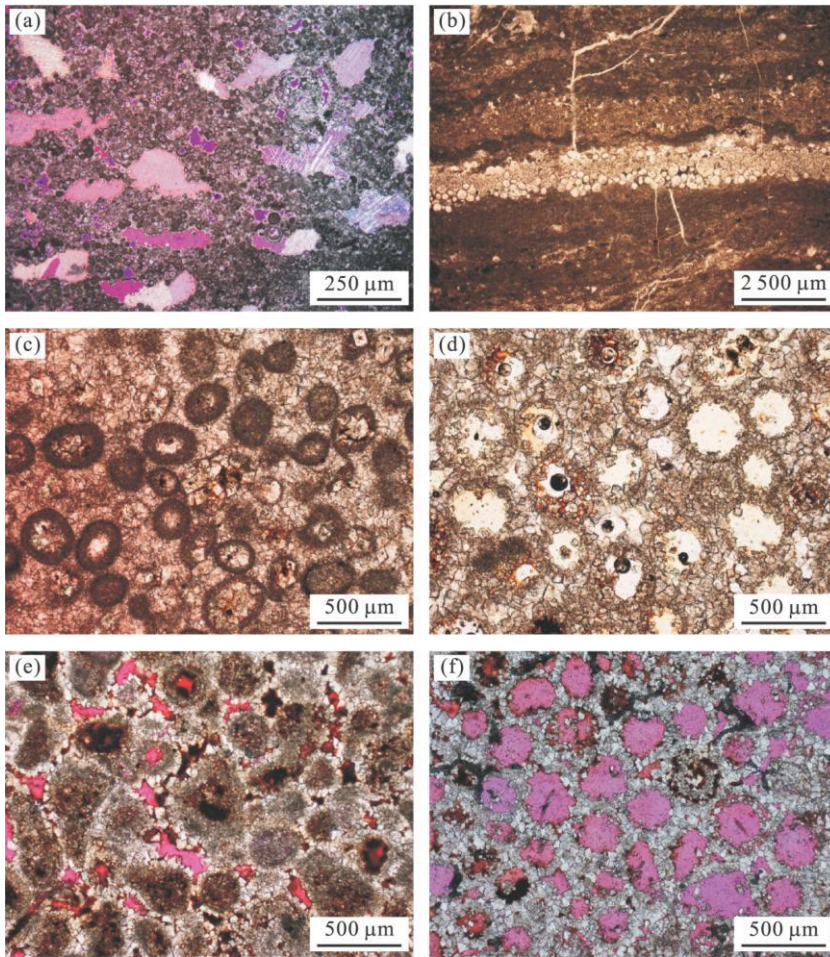


图 4 江油二郎庙鱼洞子剖面准层序组 Pss4 内部鲕粒滩岩性特征

Fig. 4 Lithology of oolitic shoal in the parasequence set 4 of Yudongzi Section, Erlangmiao, Jiangyou

a. Pss4 中 Ps1 中部灰质鲕粒云岩, 见亮晶斑块状方解石, 顺层分布, 鲕粒分选中等, 多呈圆状, Ya-77, 染色岩矿薄片, 正交光+石膏试板,  $\times 1$ ; b. Pss4 中 Ps1 上部条带状灰质含鲕粒白云岩, 鲕粒顺层分布, 分选中等, 多呈圆状, Ya-73, 染色岩矿薄片, 单偏光,  $\times 1$ ; c. Pss4 中 Ps2 下部白云质鲕粒灰岩, 鲕粒含量低, 分选中等一差, 多呈圆状, 颗粒内部或基质部分白云岩化, Ya-b1, 染色岩矿薄片, 单偏光,  $\times 5$ ; d. Pss4 中 Ps2 上部残余鲕粒云岩, 鲕粒含量高, 点接触, 分选好, 呈浑圆状, Ya-b12, 染色岩矿薄片, 单偏光,  $\times 5$ ; e. Pss4 中 Ps2 上部残余鲕粒云岩中的粒间孔隙, 分布于鲕粒之间, 部分原油充填, Ya-b9, 铸体薄片, 单偏光,  $\times 5$ ; f. Pss4 中 Ps2 上部残余溶孔鲕粒白云岩中的铸模孔隙, 鲕粒基本完全溶蚀, 内部组构破坏, 但形态保存较为完整, 部分原油充填, Ya-b4, 铸体薄片, 单偏光,  $\times 5$

白云质鲕粒灰岩; 上部为残余鲕粒云岩。

综上所述, 准层序组 Pss4 内部鲕粒滩为薄层白云质鲕粒灰岩与残余鲕粒云岩互层, 且以残余鲕粒云岩发育为主. 4 个白云质鲕粒灰岩和残余鲕粒云岩组合单元分别对应 4 个准层序 Ps2、Ps3、Ps4 和 Ps5, 每个准层序下部为白云质鲕粒灰岩, 鲕粒直径较小, 含量为 50%~60%, 鲕粒分选中等一差, 多呈圆状, 以晶间孔隙发育为主; 上部为残余鲕粒云岩, 鲕粒直径很小, 含量在 80% 以上, 颗粒间点接触, 鲕粒分选好, 多呈圆状, 鲕粒内部微组构基本破裂, 溶蚀现象极为普遍, 发育粒间或粒内溶孔(铸模孔隙)。

### 3 江油二郎庙鱼洞子地区鲕粒滩沉积模式

现代鲕粒滩比较沉积学研究指出, 鲕粒滩内部环境单元包括稳定鲕粒砂坪、活动边缘和水道等, 而鲕粒滩相邻环境主要有潮坪、泻湖、生物礁和深水沉积环境等(Boardman *et al.*, 1993). 稳定鲕粒砂坪典型特征是鲕粒含量一般在 25%~75%, 在背海岸一侧分布广, 近海岸一侧变化较大, 是鲕粒滩内部受水动力条件改造相对较弱的区域. 鲕粒滩活动边缘以鲕粒含量在 75% 以上, 鲕粒分选好, 磨圆度高为典型特征, 是鲕粒滩内部受水动力条件改造最强烈

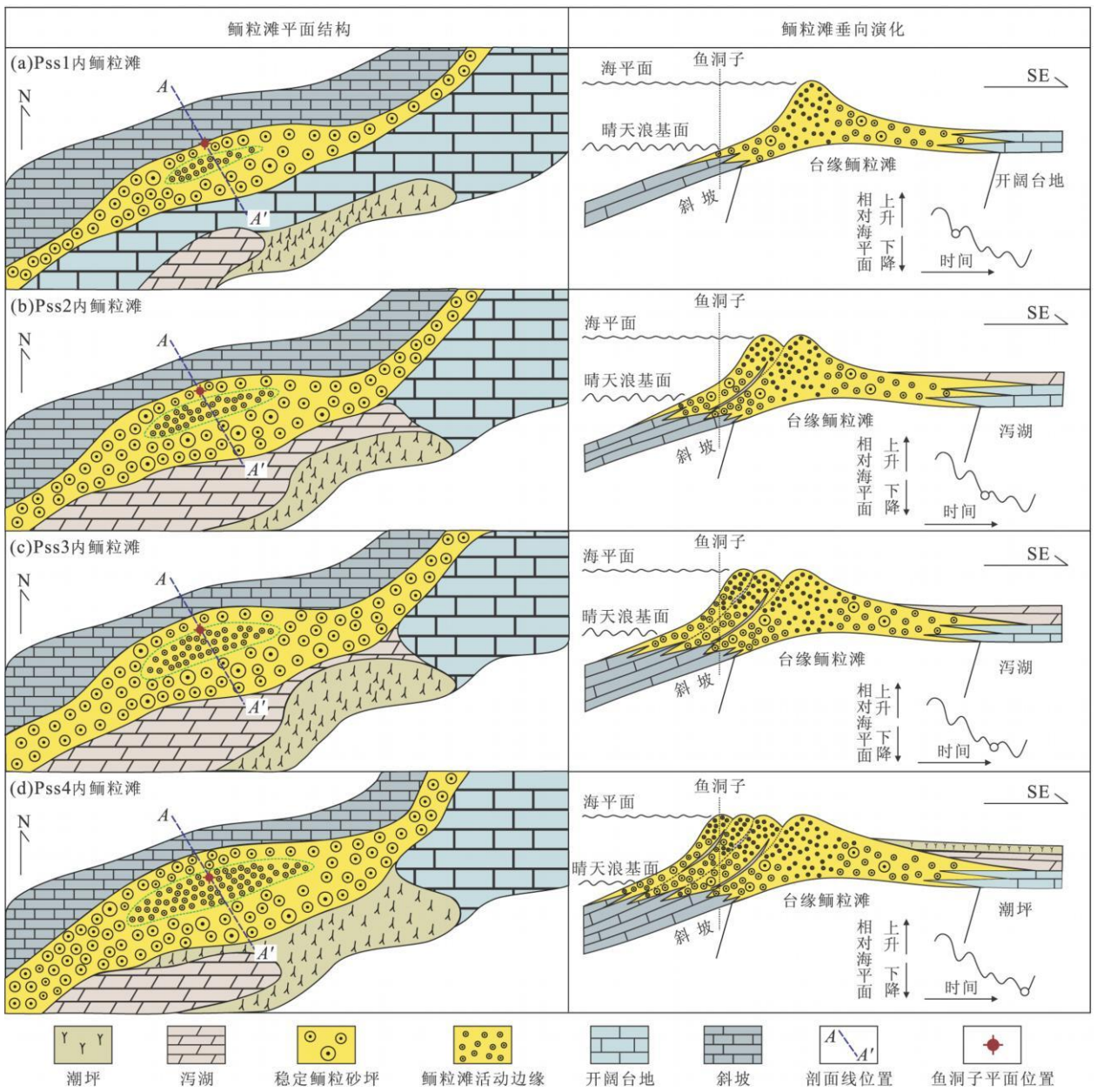


图 5 江油二郎庙鱼洞子地区飞仙关组早期鲕粒滩沉积模式

Fig. 5 Development model of oolitic shoal in Early Feixianguan, Yudongzi Erlangmiao, Jiangyou

的区域(Boardman *et al.*, 1993). 江油二郎庙鱼洞子地区飞仙关组早期 Pss1 底部为中厚层状微—细晶灰岩, 往上变为中薄层状微晶灰岩, 泥质含量增高, 可见相对海平面上升; 随后由上部中厚层状泥微晶灰岩, 局部夹泥晶角砾灰岩, 转变为 Pss1 中上部鲕粒滩沉积, 即由较深水斜坡沉积向鲕粒滩过渡, 可推断相对海平面开始下降; 此时鲕粒滩以鲕粒灰岩为主, 鲕粒含量相对较低, 一般低于 50%, 以亮晶胶结为主, 泥晶含量较高, 溶蚀不发育, 可见其形成的水动力条件较弱, 水体深度相对较大, 因此可推测该剖面此时处于鲕粒滩稳定砂坪的边缘靠近深水区。

由于水体相对较深, 鲕粒滩的分布范围相对较小(图 5a). 当相对海平面小幅度快速上升时, 该期鲕粒滩被淹没, 在其上部发育 Pss2 下部中薄层白云质微晶灰岩和灰质粉晶白云岩, 且往上白云岩化有增强趋势, 可推测随后相对海平面下降. 当相对海平面不断下降时, 该区发育 Pss2 中上部鲕粒滩, 其以含豆粒鲕粒灰岩和含鲕粒豆粒灰岩为主, 夹鲕粒灰岩, 颗粒含量一般在 40%~65%之间, 颗粒间以亮晶胶结为主, 泥晶含量明显减少, 说明其形成的水动力条件有所增强, 水体深度相对变浅, 可推测该剖面此时处于稳定鲕粒砂坪带(图 5b); 此时鲕粒滩随着相对海平



面下降发生迁移, 其分布范围有所扩大(图 5b). 随后该区发育 Pss3 内部鲕粒滩, 其以鲕粒灰岩为主, 夹含豆粒鲕粒灰岩和含鲕粒豆粒灰岩, 颗粒含量在 40%~70% 之间, 颗粒之间以亮晶胶结为主, 局部点接触; 与 Pss2 对比来看, 其内部颗粒含量基本保持不变, 但颗粒大小明显减小, 溶蚀作用明显增强(图 2), 说明此时相对海平面持续下降, 鲕粒滩分布范围进一步扩大, 可推测此时该剖面处于稳定鲕粒砂坪带靠近活动边缘一侧(图 5c). 当相对海平面缓慢上升时, 鲕粒滩潮坪化, 该区发育 Pss4 下部灰质鲕粒白云岩和条带状含鲕粒白云岩, 局部夹鲕粒内碎屑灰岩. 随后相对海平面下降, Pss4 中上部鲕粒滩开始发育(图 5d), 其以残余鲕粒云岩发育为主, 夹薄层白云质鲕粒灰岩, 其内部鲕粒含量很高, 多为 70%~80%, 甚至更高, 鲕粒个体很小, 分选好, 呈浑圆状, 颗粒之间点接触, 说明其形成的水动力条件很强, 水体深度很浅, 可推测此时该剖面处于鲕粒滩活动边缘带(图 5d). 该带内部鲕粒个体小, 丰度高, 可能与该区带鲕粒生成速度有关, 由于该区带的水动力条件最强, 水体双向运动强烈, 导致其成为鲕粒主要加工厂, 其内部鲕粒产生速度最快, 致使该区鲕粒生成所需物质(如饱和的  $\text{CaCO}_3$ ) 供应不足, 最终导致鲕粒个体小, 而含量却相对很高. 从该区四期鲕粒滩沉积演化来看, 随着相对海平面周期性波动变化, 且总体下降, 鱼洞子地区从稳定鲕粒砂坪的边缘靠近

深水区—稳定鲕粒砂坪—稳定鲕粒砂坪靠近鲕粒滩活动边缘—鲕粒滩活动边缘带演化, 说明鲕粒滩向广海方向不断进积, 且其平面分布范围逐步扩大(图 5).

### 4 研究意义

对比 Pss2、Pss3 和 Pss4 各准层序中鲕粒滩岩石物性垂向变化特征, 可发现 Pss4 各准层序中鲕粒滩的物性普遍比 Pss2 和 Pss3 内各准层序中鲕粒滩物性好(图 6). Pss4 内部鲕粒滩以鲕粒云岩类为主, 且发育于鲕粒滩活动边缘部位; Pss2 和 Pss3 内部鲕粒滩以鲕粒灰岩类为主, 且发育于鲕粒滩稳定砂坪部位. 可见, 鲕粒滩活动边缘是优质储层发育的有利部位, 也是鲕粒云岩类储层发育的有利部位(图 6). 同时, 在鲕粒滩活动边缘内部, 每个准层序下部鲕粒灰岩类岩石较上部鲕粒云岩类岩石物性差(图 2). 综合来看, 鲕粒云岩类储层的物性好于鲕粒灰岩类储层. 许多学者从成岩作用的角度对鲕粒滩内部优质储层的成因做了较为深入的研究(苏立萍等, 2004; 徐世琦等, 2004; 魏国齐等, 2005; 黄思静等, 2008), 但是很少关注鲕粒滩内部沉积微相特征. 统计发现鲕粒灰岩类储层内部颗粒含量一般在 40%~70% 之间, 颗粒间以亮晶胶结为主, 而鲕粒云岩类储层内部颗粒含量一般在 70%~85% 之间, 颗粒之间多为点接触, 而且分选性比前者好, 磨圆度也比前者

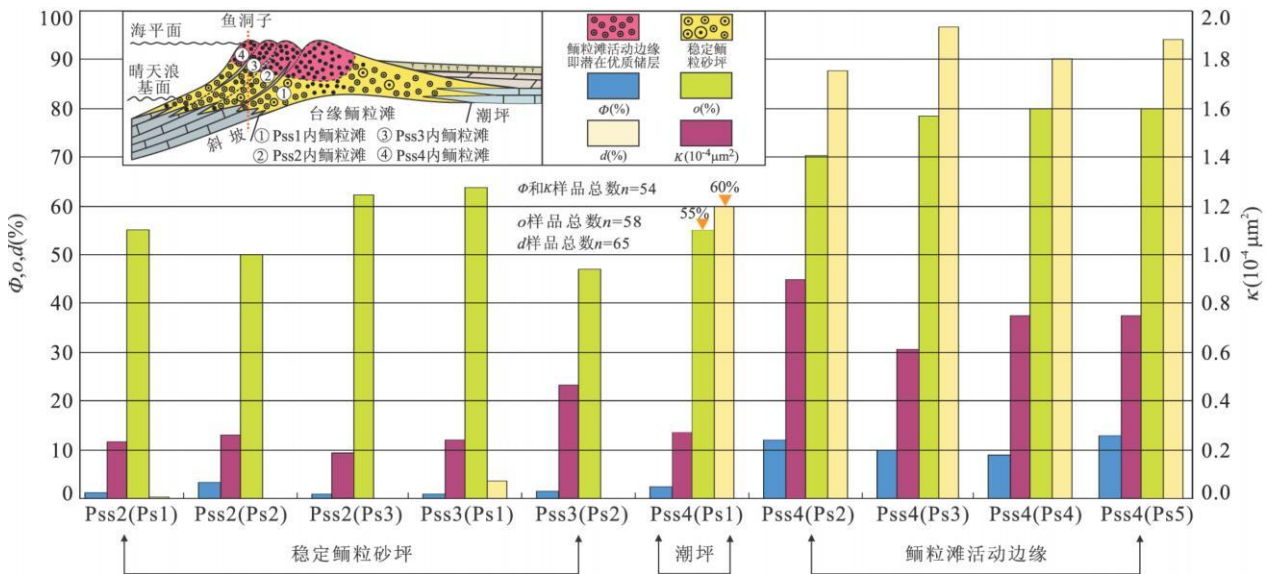


图 6 江油二郎庙鱼洞子剖面飞仙关组早期鲕粒滩内各准层序内部物性、鲕粒含量和白云石含量关系综合

Fig. 6 Relationship of physical properties, content of ooids and dolomite in each parasequence in Early Feixianguan, Yudongzi, Erlangmiao, Jianguoyou

Φ 孔隙度; κ, 渗透率; o, 颗粒含量; d, 白云石含量; 其中 Φ, o 和 d 由纵坐标轴左边刻度表示, 单位: %

高(图 2), 可见两者原始沉积条件可能存在很大差异. 颗粒含量、分选性和磨圆度通常作为反映沉积时水动力条件的重要指标, 从这个角度来看, 鲕粒灰岩类岩石沉积的水动力条件较鲕粒云岩类岩石的原始沉积弱, 致使两者在微相构成方面存在较大差异. 正是由于两者可能形成于鲕粒滩内部不同沉积单元或相同沉积单元内受不同的水动力条件的改造, 造成两者内部构成微相上的差异, 而致使后期成岩环境和成岩强度不同, 所以两者物性上存在明显差别. 可见优质储层的形成受控于原始的沉积条件. 考察每个准层序内部颗粒含量、白云石含量、孔隙度和渗透率之间的变化关系, 可发现颗粒含量在 55% 以上, 而白云石含量在 60% 以上的准层序内部鲕粒滩物性相对较好, 其平均孔隙度和渗透率分别可以达到 10.94% 和  $0.076 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 且这类储层往往发育于鲕粒滩活动边缘; 颗粒含量在 70% 以下, 而白云石含量在不到 10% 的准层序内部鲕粒滩物性一般相对较差, 其平均孔隙度和渗透率分别可以达到 1.53% 和  $0.028 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 这类储层往往发育于稳定鲕粒砂坪带或其边缘(图 6).

## 5 结论

(1) 江油二郎庙鱼洞子地区飞仙关组早期发育 4 期鲕粒滩, 分别位于 4 个准层序组 P<sub>ss1</sub>、P<sub>ss2</sub>、P<sub>ss3</sub> 和 P<sub>ss4</sub> 内部. P<sub>ss1</sub> 由 2 个准层序 P<sub>s1</sub> 和 P<sub>s2</sub> 组成, P<sub>s2</sub> 是鲕粒滩主体, 其发育时, 剖面位于稳定鲕粒砂坪边缘靠近深水区域, 以含鲕粒粉—细晶灰岩和鲕粒灰岩为主, 鲕粒直径较小, 在 0.3~0.8 mm 之间, 下部含量 20% 左右, 往上增加到 50%~60%, 分选中等, 呈圆—次圆状. P<sub>ss2</sub> 由 3 个准层序 P<sub>s1</sub>、P<sub>s2</sub> 和 P<sub>s3</sub> 组成, P<sub>s1</sub> 上部、P<sub>s2</sub> 和 P<sub>s3</sub> 共同构成鲕粒滩主体, 其发育时, 剖面位于稳定鲕粒砂坪区, 以含豆粒鲕粒灰岩和含鲕粒豆粒灰岩为主, 颗粒含量在 40%~65% 之间, 其中鲕粒直径较大, 在 0.2~1.8 mm 之间, 颗粒分选普遍较差, 多呈圆—次圆状, 且 P<sub>s1</sub> 和 P<sub>s2</sub> 以晶间孔隙发育为主, P<sub>s3</sub> 以裂缝孔隙发育为主. P<sub>ss3</sub> 由 2 个准层序 P<sub>s1</sub> 和 P<sub>s2</sub> 组成, 其中 P<sub>s1</sub> 和 P<sub>s2</sub> 共同构成鲕粒滩主体, 其发育时, 剖面位于稳定鲕粒砂坪区靠近鲕粒滩活动边缘带, 以鲕粒灰岩为主, 颗粒含量在 40%~70% 之间, 其中鲕粒直径较小, 在 0.1~0.8 mm 之间, 颗粒分选中等—差, 多呈次圆状, 均以粒内溶孔发育为主. P<sub>ss4</sub> 由 5 个准层序 P<sub>s1</sub>、P<sub>s2</sub>、P<sub>s3</sub>、P<sub>s4</sub> 和 P<sub>s5</sub> 组成,

后 4 个是鲕粒滩主体; 每个准层序下部为白云质鲕粒灰岩, 鲕粒含量在 50%~60% 之间, 直径较小, 在 0.2~0.8 mm 之间, 分选中等—差, 多呈圆状, 以晶间孔隙发育为主; 上部为残余鲕粒云岩, 鲕粒含量在 80% 以上, 直径很小, 在 0.2~0.5 mm 之间, 颗粒间点接触, 分选好, 呈圆状, 以粒间和粒内溶孔发育为主. (2) P<sub>ss1</sub> 内鲕粒滩发育时, 该剖面位于台缘鲕粒滩稳定鲕粒砂坪边缘靠近深水区域; P<sub>ss2</sub> 内鲕粒滩发育时, 该剖面位于台缘鲕粒滩稳定鲕粒砂坪区; P<sub>ss3</sub> 内鲕粒滩发育于台缘鲕粒滩稳定鲕粒砂坪靠近鲕粒滩活动边缘带; P<sub>ss4</sub> 内部鲕粒滩发育时, 该剖面位于台缘鲕粒滩的活动边缘带; 随着相对海平面周期性波动, 且总体下降, 鲕粒滩向广海方向不断进积, 平面分布范围逐步扩大. (3) 优质储层的形成与其原始沉积条件密切相关; 在鲕粒滩活动边缘区, 受较强水动力条件改造的鲕粒滩易于形成优质储层; 鲕粒滩内部颗粒含量在 55% 以上且白云石含量在 60% 以上的储层物性明显较好, 其平均孔隙度和渗透率分别可以达到 10.94% 和  $0.076 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ .

致谢: 中国地质大学(武汉)颜佳新教授、王永标教授和王华教授为文章的修改和完善提供了宝贵意见; 匿名评审专家提出了很多需要深入研究的问题及修改意见, 在此一并致谢!

## References

- Boardman, R. M., Carney, C., Bergstrand P. M., 1993. A quaternary analog for interpretation of Mississippian oolites. In: Zuppann C. W., Keith, B. D., eds., Mississippian oolites and modern analogs. *AAPG Studies in Geology*, 35: 227–241.
- Grammer, G. M., Harris P. M., Eberli G. P., 2004. Integration of modern and outcrop analogs for reservoir modeling—overview and examples from the Bahamas. In: Grammer, G. M., Harris P. M., Eberli, G. P., eds., Integration of outcrop and modern analogs in reservoir modeling. *AAPG Memoir*, 80: 1–22.
- Grasmueck, M., Weger, R., 2002. 3D GPR reveals complex internal structure of Pleistocene oolitic sandbar; leading edge of exploration. *Society of Exploration Geophysics*, 21(7): 634–639. doi: 10.1190/1.1497315
- Huang, S. J., Qing, H. R., Hu, Z. W., et al., 2008. Cathodoluminescence and diagenesis of the carbonate rocks in Feixianguan Formation of Triassic, eastern Sichuan basin of China. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 33(1): 26–34 (in Chinese with English abstract).

- Liu, Y. Q., Meng, X. H., Ge, M., 1999. The sea-level change forcing cycles of oolitic carbonate and cyclostratigraphical applications. *Scientia Geologica Sinica*, 34(4): 442—450 (in Chinese with English abstract).
- Ma, Y. S., Mu, C. L., Tan, Q. Y., et al., 2007. Reef-bank features of Permian Changxing Formation and Triassic Feixianguan Formation in the Daxian-Xuanhan area, Sichuan Province, South China and constraint for the reservoirs of natural gas. *Earth Science Frontiers*, 14(1): 182—192 (in Chinese with English abstract).
- Meng, X. H., Ge, M., 1993. Study of sedimentary on intrabasin. Oil Industry Press, Beijing, 111—115 (in Chinese).
- Meng, X. H., Ge, M., 2004. Cyclic sequences, events and the evolution of the Sino-Korea Plate. Science Press, Beijing, 202—232 (in Chinese).
- Parham, K. D., Sutterlin, P. G., 1993. Ooid shoals of the Mississippian St. Louis Formation, Gray County, Kansas. In: Zuppann, C. W., Keith, B., eds., Mississippian oolites and modern analogs. *AAPG Studies in Geology*, 35: 185—197.
- Qi, L. S., Carr, T. R., Goldstein, R. H., 2007. Geostatistical three-dimensional modeling of oolite shoals, St. Louis Limestone, Southwest Kansas. *AAPG Bulletin*, 91(1): 69—96. doi: 10.1306/08090605167
- Reeder, S. L., Rankey, E. C., 2008. Interactions between tidal flows and ooid shoals northern Bahamas. *Journal of Sedimentary Research*, 78(3): 175—186. doi: 10.2110/jsr.2008.020
- Sha, Q. A., 1999. Study on shoal facies deposit. *Journal of Palaeogeography*, 1(3): 8—12 (in Chinese with English abstract).
- Sha, Q. A., Jiang, M. S., 1998. The deposits of oolitic shoal facies and algal flat facies—dissect of the Zhangxia Formation of the Middle Cambrian, western Shandong Province. *Acta Sedimentologica Sinica*, 16(4): 62—70 (in Chinese with English abstract).
- Song, Z. T., Luo, Z. L., 1990. Tension backgroup of lithofacies differentiate of the Dalong Formation of Upper Permian in North Sichuan basin. *Acta Geologica Sichuan*, 10(2): 85—88 (in Chinese).
- Su, L. P., Luo, P., Hu, S. R., et al., 2004. Diagenesis of oolitic bank of the Feixianguan Formation of Lower Triassic in Loujiazhai gas field of northeastern Sichuan Province. *Journal of Palaeogeography*, 6(2): 182—190 (in Chinese with English abstract).
- Wang, X. Z., Zhang, F., Ma, Q., et al., 2002. The Characteristics of reef and bank and the fluctuation of sea-level in Feixianguan Period of Late Permian Early Triassic, East Sichuan basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 20(2): 249—254 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Y. G., Liu, H. Y., Wen, Y. C., et al., 2002. Distribution law, exploration method and prospectiveness prediction of the oolitic beach reservoirs in Feixianguan Formation in northeastern Sichuan Province. *Natural Gas Industry (Suppl.)*, 22: 14—19 (in Chinese with English abstract).
- Wei, G. Q., Chen, G. S., Yang, W., et al., 2006. Preliminary study of the boundary of Kaijiang-Liangping trough in northern Sichuan basin and its characteristics. *Oil & Gas Geology*, 27(1): 99—105 (in Chinese with English abstract).
- Wei, G. Q., Yang, W., Zhang, L., et al., 2005. Dolomitization genetic-model of Feixianguan Formation oolitic beach reservoirs in northeast Sichuan basin. *Natural Gas Geoscience*, 16(2): 162—166 (in Chinese with English abstract).
- Xu, S. Q., Hong, H. T., Zhang, G. R., et al., 2004. Main controlling factor analysis on oolitic reservoir development of Lower Triassic Feixianguan Formation in Sichuan basin. *Natural Gas Exploration & Development*, 27(1): 1—3 (in Chinese with English abstract).
- Yang, Y., Zeng, Y. X., Liu, W., 2002. Control of sedimentary facies on  $T_1f$  on oolite distribution in northeast Sichuan basin. *Natural Gas Exploration & Development*, 25(3): 1—9 (in Chinese).
- Zeng, Y. F., Lee, N. H., Huang, Y. Z., 1983. Sedimentary characteristics of oolitic carbonates from the Jia-ling-jiang Formation (Lower Triassic Tj), South Sichuan basin, China. In: Sery, T. M., ed., Coated Grains II. *Springer-verlag*, 10: 176—187.
- Zhang, J., Wang, Y. G., 2003. Characteristics of carbonate evaporation platform edge deposition in Early Feixianguan Epoch at Hekou region of Xuanhan in Sichuan. *Natural Gas Industry*, 23(2): 19—22 (in Chinese with English abstract).

#### 附中文参考文献

- 黄思静, 卿海若, 胡作维, 等. 2008. 川东三叠系飞仙关组碳酸盐岩的阴极发光特征与成岩作用. *地球科学——中国地质大学学报*, 33(1): 26—34.
- 柳永清, 孟祥化, 葛铭. 1999. 华北地台中寒武世鲕滩碳酸盐旋回沉积、古海平面变动控制及旋回年代学研究. *地质科学*, 34(4): 442—450.
- 马永生, 牟传龙, 谭钦银, 等. 2007. 达县—宣汉地区长兴组—飞仙关组礁滩相特征及其对储层的制约. *地学前缘*, 14(1): 182—192.

- 孟祥化, 葛铭, 1993. 内源盆地沉积研究. 北京: 石油工业出版社, 111—115.
- 孟祥化, 葛铭, 2004. 中朝板块层序·事件·演化. 北京: 科学出版社, 202—232.
- 沙庆安, 1999. 关于滩相沉积. 古地理学报, 1(3): 8—12.
- 沙庆安, 江茂生, 1998. 粒滩相与藻坪相沉积——鲁西地区中寒武统张夏组剖析. 沉积学报, 16(4): 62—70.
- 宋子堂, 罗志立, 1990. 川北晚二叠世大隆期岩相分异的古拉张背景. 四川地质学报, 10(2): 85—88.
- 苏立萍, 罗平, 胡社荣, 等, 2004. 川东北罗家寨气田下三叠统飞仙关组鲕粒滩成岩作用. 古地理学报, 6(2): 182—190.
- 王兴志, 张帆, 马青, 等, 2002. 四川盆地东部晚二叠世—早三叠世飞仙关期礁、滩特征与海平面变化. 沉积学报, 20(2): 249—254.
- 王一刚, 刘划一, 文应初, 等, 2002. 川东北飞仙关组鲕粒滩储层分布规律、勘探方法与远景预测. 天然气工业, 22(增刊): 14—19.
- 魏国齐, 陈更生, 杨威, 等, 2006. 四川盆地北部开江—梁平海槽边界及特征初探. 石油天然气地质, 27(1): 99—105.
- 魏国齐, 杨威, 张林, 等, 2005. 川东北飞仙关组鲕粒滩储层白云石化成因模式. 天然气地球科学, 16(2): 162—166.
- 徐世琦, 洪海涛, 张光荣, 等, 2004. 四川盆地下三叠统飞仙关组鲕粒储层发育的主要控制因素分析. 天然气勘探与开发, 27(1): 1—3.
- 杨雨, 曾云贤, 刘微, 2002. 川东北部地区飞仙关组沉积相对鲕粒滩储层分布的控制. 天然气勘探与开发, 25(3): 1—9.
- 张静, 王一刚, 2003. 四川宣汉河口地区飞仙关早期碳酸盐蒸发台地边缘沉积特征. 天然气工业, 23(2): 19—22.